

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра екології, технології захисту навколишнього
середовища та лісового господарства

05-02-238

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання лабораторних робіт
з навчальної дисципліни **БІОЛОГІЯ** (модуль 2)
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності
101 «Екологія» та за освітньо-професійною програмою
«Технології захисту навколишнього середовища»
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього
середовища» денної і заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості ННІ агроекології та
землеустрою
протокол № 5 від 10.03.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни *Біологія* (модуль 2) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Екологія» спеціальності 101 «Екологія» та за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища» денної і заочної форм навчання. [Електронне видання] / Бедункова О. О. – Рівне : НУВГП, 2020. – 53 с.

Укладач: Бедункова О. О., доктор біологічних наук, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 101 «Екологія»

Бедункова О. О.

Керівник групи забезпечення спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Прищеп А. М.

© Бедункова О. О., 2020
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2020

Зміст

Передмова.....	3
<i>Лабораторна робота №1</i>	
Методика відбору, консервації та зберігання проб води.....	4
<i>Лабораторна робота № 2</i>	
Кисень як показник санітарного стану водойм.....	10
<i>Лабораторна робота №3</i>	
Біохімічне споживання кисню.....	18
<i>Лабораторна робота №4</i>	
Динаміка форм азоту в водоймах. Визначення вмісту аміаку за Неслером.....	22
<i>Лабораторна робота №5</i>	
Методи і знаряддя збору гідробіологічних проб води у водоймах різного типу.....	25
<i>Лабораторна робота №6</i>	
Зони сапробності і індикаторні організми.....	34
<i>Лабораторна робота №7</i>	
Індекс сапробності Пантле-Букка, Гуднайта-Уітлея, Вудвіса.....	42
<i>Лабораторна робота №8</i>	
Вивчення біологічних особливостей вищих водних рослин. Розрахунок індексу фітоіндикації.....	48

Передмова

Основним напрямком курсу «Біологія» є вивчення принципів організації і функціонування живого світу на рівні молекул, клітин, тканин, органів, систем органів та організмів. У межах другого модуля курсу передбачено отримання знань про життєві форми гідросфери (пелагіалі та бенталі), структурно-функціональні характеристики водних екосистем, шляхи і методи підтримання сталості біологічних параметрів водойм, гідробіологічні методи контролю за санітарним станом водойм. У результаті студенти набувають вмінь застосовувати методи збору у водоймах макрофітів, планктонних та донних організмів, проводити збір матеріалу та їх камеральну обробку, проводити визначення видового та чисельного складу гідробіонтів,

визначати клас якості води та оцінювати стан водних екосистем за основними гідробіологічними показниками.

Складова практичної підготовки дисципліни Біологія в розрізі змістового модуля 2 сприяє подальшому вивченню студентами гідроекологічних та гідрологічних освітніх компонентів, набуттю компетенцій щодо аналізу змін в екосистемах за станом живих організмів, оцінки та передбачення наслідків людської діяльності на стан біосистем різних рівнів організації (організм, популяцію, гідроекосистему).

Дані методичні вказівки наводять 8 лабораторних робіт, що містять теоретичну частину та відповідні завдання, а також список рекомендованої літератури.

Лабораторна робота №1

Методика відбору, консервації та зберігання проб води

Мета роботи: *Оволодіти знаннями щодо загальних правил відбору, консервації та зберігання проб води при гідробіологічних дослідженнях.*

Основні поняття

Загальні вимоги до відбору проб води. Відбір проб води є дуже важливою частиною її аналізу. Якщо допущена помилка при відборі, то її виправити неможливо. Загальні принципи, які потрібно застосовувати при плануванні та проведенні відбору поверхневих вод для проведення їх аналізу викладені в Наказі Державної служби України з надзвичайних ситуацій №30 від 19.01.2016 р. «Про затвердження Інструкції з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами», а також «ДСТУ ISO 5667-6-2001 Якість води. Відбір проб. Частина 6».

Відбір проб води здійснюється тільки досвідченими, кваліфікованими робітниками, які несуть безпосередню відповідальність за результати аналізу. Бажано, щоб спосіб відбору був попередньо погоджений з зацікавленими сторонами. Деталі проведення аналізу визначаються в кожному конкретному випадку у відповідності з поставленим завданням і

в залежності від місцевих умов.

Проба води, яка береться для аналізу, повинна відображати умови і місце її відбору на підставі обстеження місцевості, детального ознайомлення з технологією виробництва, споживанням води, розташуванням цехів, системою каналізації, призначенням і роботою окремих елементів станції очистки і т.п. Наприклад, при вивченні впливу стічних вод підприємств на річку необхідно здійснити відбір контрольної (незабрудненої) проби, а також передбачити ефект розбавлення стоків (рис. 1.1).

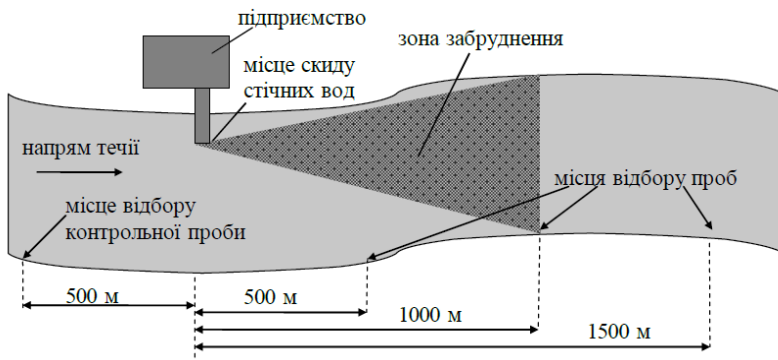


Рис. 1.1. Місця відбору проб води при дослідженні впливу стічних вод підприємства на річку

Відбір проби, транспортування і збереження її повинно проводитися так, щоб не пройшло зміни в складі компонентів або властивостях води, які визначаються при аналізі.

Об'єм проби повинен бути достатнім і відповідати методиці аналізу, що застосовується. Як правило, для неповного аналізу відбирається 1 л, для детального аналізу – 2 л води, для повного аналізу – ще більший об'єм води.

В залежності від мети аналізу застосовуються разовий або серійний відбір проб. Разовий відбір здійснюють один раз у визначеному місяці. Цей спосіб застосовують рідко, при постійній якості води, коли за результатами одного аналізу можна судити про якість досліджуваної води (наприклад, в підземних водах).

У випадку, коли якість води змінюється в часі і просторі, одноразового взяття проби недостатньо. Тому в таких випадках застосовують серійний відбір проб. При цьому відборі проби беруться через визначений інтервал часу (годину, добу, місяць) в різних точках об'єкту (зональний). Взяті проби аналізуються і обробляються математично.

Особливий тип серійного відбору представляють проби, які відбирають у різних місцях за течією річки або стічних вод з врахуванням часу проходження води від одного пункту до іншого.

Види проб: проста і змішана. Просту пробу отримують шляхом одноразового відбору всієї необхідної кількості води. Аналіз простої проби дає дані про склад води в даний момент в одному місці.

Змішану пробу отримують при зливанні різних частин простих проб, взятих в одному й тому ж місці через визначені проміжки часу або відібрані одночасно в різних місцях об'єкту. Ця проба характеризує середній склад із врахуванням як місця, так і часу. Змішану пробу не рекомендується відбирати за період більше доби. При необхідності довготривалого збереження пробу консервують (консервуючий реагент вводять в посудину для відбору проби).

Посуд для відбору і збереження проби. Найчастіше використовуються скляні бутлі з гумовим або скляним корком або зі спеціальним корком, який має пружинне кріплення, з гумовим ущільненням і т.п. Можуть застосовуватись поліетиленові бутлі, термоси. Додаткові проби для проведення деяких визначень, що потребують спеціальної обробки, відбирають в менші бутлі або кисневі склянки. Посуд попередньо старанно мисться концентрованою сірчаною кислотою (технічною), для знежирення використовують синтетичні миючі засоби, або хромову суміш. Повне знежирення досягається пропарюванням посуду водяною парою. Вимитий посуд споліскують дистильованою водою. Перш ніж взяти пробу, посудину необхідно сполоснути декілька разів водою, що відбирається. Бутлі з пробами нумеруються і номер заноситься в паспорт проби.

Відбір проб здійснюється безпосередньо посудиною, при необхідності додатковою посудиною з тримачем або з вагою на тросі чи пробовідбірником. Якщо потрібно взяти пробу з конкретної глибини, то використовують батометр (пляшка Мейера). На встановлену глибину на підвісному тросі опускають бутель, який має вагу і закритий корком, до якого прикріплений додатковий трос, з'єднаний з основним. Після досягнення необхідної глибини, різким ривком за трос підвісу витягують корок із горловини бутля, який після наповнення водою підіймають за допомогою підвісного тросика.

Паспорт проби. У паспорт вносяться такі дані: місце відбору проби; мета відбору проби; номер проби; температура °С; об'єм проби; номер кисневої склянки; номер склянки на БСК; дата і час відбору проби.

Відбір проб із річок і струмків. Пробу води відбирають у місці найсильнішої течії, краще у фарватері течії. Категорично заборонено відбирати пробу в стоячій воді. Пробу беруть у верхній третині загальної глибини (як правило 20 – 30 см до поверхні). Проби відбираються одноразово або серійно, прості і змішані. При скиданні стічних вод у річку проби відбираються на відстані 500 м – на великих, 300 м – на середніх, 100 м – на малих річках нижче скиду.

Відбір проб із водосховищ, озер і ставків. Відбір проб здійснюється з човна у руслі річки. Не рекомендується брати середню пробу із водосховища, тобто одержувати пробу змішуванням однакових порцій води, взятих у різних місцях водосховища. Не можна відбирати пробу в місцях з густими зарослями водних рослин.

Відбір проб із джерел, колодязів, свердловин і дренажів. Відбирають пробу під поверхнею води безпосередньо в бутель пробовідбірником. Якщо джерело має зливну трубку або жолобок, пробу відбирають у посудину із зливної трубки. Якщо джерело потрібно попередньо почистити, то відбір проби здійснюється тільки через добу.

Проби із свердловин відбирають глибинним пробовідбірником з вузьким перерізом чи насосом. При відборі проб із колодязів воду спочатку відкачують до встановлення

постійної температури (приблизно 20 хвилин). Проби дренажної води відбирають безпосередньо із стоку дренажних труб.

Відбір проб дощової води, снігу та льоду. Дощову воду вловлюють за допомогою широкої лійки, трубка якої доходить до дна бутля для проби. Якщо потрібно визначити якість чистої дощової води, її збирають через декілька хвилин після початку дощу. Падаючий сніг вловлюють так само, як і дощову воду, а потім розтоплюють. Проби снігового покриву відбирають у місцях, де він лежить найтовстішим шаром. Спочатку лопатою знімають верхній шар, а потім заповнюють снігом широкогорлу банку.

При відборі проб льоду беруть шматки в різних місцях і очищують їх зі всіх сторін на чистій підстилці чистим долотом чи ножем. Потім чисті шматки льоду кладуть у чашку, залишають на деякий час і переносять в іншу посудину, де також залишають на деякий час. Далі лід переносять у широкогорлу банку і витримують при кімнатній температурі до тих пір, поки він не розтане.

Відбір проб стічних вод проводиться як середньо змішаних проб (за годину, зміну, добу) або серійних проб за попередньо розробленим планом.

Визначають добовий максимум і мінімум кількості стічних вод і добову, тижневу, річну зміну якості води. При необхідності проводиться відбір погоджених проб у різних місцях течії стічних вод. Якщо вода витікає із труби, то пробу потрібно брати безпосередньо із струменя.

Відбір проб води, забрудненої екстрагуючими речовинами і нафтопродуктами. Для відбору проб використовують широкогорлі скляні банки з притертим корком або звичайні бутлі. Бутлі із пластмаси бажано не застосовувати. Бутлі при відборі не споліскують, щоб не вплинути на склад відібраної проби води.

Консервація проб проводиться з метою недопущення змін у воді в процесі транспортування та збереження. Консервація проб проводиться для визначення тільки окремих показників якості води (табл. 1.1). Консервант вноситься в бутель до відбору проби.

Таблиця 1.1

Консервація проб

№ з/п	Компонент	Метод консервації				Початок аналізу
		Добавка H_2SO_4 , мг/л	Добавка HNO_3 , мг/л	Добавка хлороформу, мг/л	Зберігання при $t^\circ = 3-4^\circ\text{C}$	
1	2	3	4	5	6	7
1	Аміак	1	-	2 - 4	+	відразу
2	СПАР	-	-	2 - 4	-	протягом 24 год.
3	БСК	не консервується			+	протягом 24 год.
4	Завислі речовини	не консервується			+	протягом 24 год.
5	Жири	2,5	-	-	-	відразу
6	Жорсткість	не консервується			+	відразу
7	Запах	не консервується			+	відразу
8	Кальцій	не консервується			-	відразу
9	Карбонати	не консервується			+	відразу
10	Кисень	консервація по ходу визначення			-	відразу
11	Кислотність	не консервується			+	відразу
12	Магній	не консервується			-	відразу
13	Каламутність	-	-	2 - 4	-	протягом 24 год.
14	Нітрати	1	-	2 - 4	-	відразу
15	Нітрити	1	-	2 - 4	-	відразу
16	Окислюваність	1 - 10	-	-	+	відразу
17	pH	не консервується			+	відразу
18	Присмак	не консервується			+	відразу
19	Прозорість	не консервується			+	відразу
20	Сульфати	не консервується			+	відразу
21	Сульфіди	не консервується			+	відразу
22	Сірководень	відбирається в окремий посуд, додається 10 мл 10% ацетату кадмію або цинку				
23	Сульфіти	не консервується			-	відразу
24	Феноли	не консервується			+	відразу
25	Фосфати	не консервується			-	відразу
26	Флориди	відбір тільки в поліетиленовий посуд				протягом 24 год.
27	Хлориди	не консервується			+	відразу
28	Нафтопродукти	не консервується			-	відразу

Транспортування і зберігання проб. Транспортування проб повинно здійснюватися швидко і обережно. Бажано, щоб проби були доставлені в лабораторію в день відбору і під наглядом її працівника. Проби рекомендується зберігати в холодильнику і виймати тільки перед початком аналізу. До аналізу приступають після того, як температура води порівнюється з кімнатною. Після проведення аналізу проби не зберігають.

Обладнання, реактиви, матеріали: вимитий, знежирений та споліснутий посуд необхідного об'єму; пляшка Мейера; термометр; H_2SO_4 ; HNO_3 ; хлороформ; піпетка.

Рекомендована література

1. «Про затвердження Інструкції з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16> (дата звернення 18.12.2019).

2. ДСТУ ISO 5667-6:2009 Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків (ISO 5667-6:2005, IDT). Київ : Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП). 2011. 35 с.

Лабораторна робота № 2

Кисень як показник санітарного стану водойм

Мета роботи: *Оволодіти методикою визначення розчиненого у воді кисню, ступені насичення води киснем та оцінкою санітарного стану водойм за даними параметрами*

Основні поняття

Розчинений у воді кисень належить до найважливіших фізико-хімічних показників, які впливають на екологічний стан водних екосистем. Він є одним із найбільш потужних природних окислювачів. Його вміст у великій мірі визначає якість води завдяки інтенсифікації процесів самоочищення, фізико-хімічної трансформації й гідробіологічного кругообігу

речовин.

Розчинений кисень знаходиться в природній воді у вигляді молекул O_2 . На його вміст у воді впливають дві групи протилежно спрямованих процесів: одні збільшують концентрацію кисню, інші зменшують її. До першої групи процесів, що збагачують воду киснем, варто віднести:

- процес абсорбції кисню з атмосфери;
- виділення кисню водяною рослинністю в процесі фотосинтезу;
- надходження до водойм з дощовими і сніговими водами, що звичайно пересичені киснем.

Абсорбція кисню з атмосфери відбувається на поверхні водного об'єкта. Швидкість цього процесу підвищується зі зниженням температури, з підвищенням тиску і зниженням мінералізації. *Аерація* - збагачення глибинних шарів води киснем - відбувається внаслідок перемішування водних мас, у тому числі вітрової, вертикальної температурної циркуляції тощо.

Фотосинтетичне виділення кисню відбувається при асиміляції діоксиду вуглецю водною рослинністю (прикріпленими, плаваючими рослинами і фітопланктоном). Процес фотосинтезу протікає тим інтенсивніше, чим вищими є температура води, інтенсивність сонячного освітлення і концентрація біогенних речовин (P, N і ін.) у воді. Продуктування кисню відбувається в поверхневому освітленому шарі водойми, глибина якого залежить від прозорості води (для кожної водойми і сезону може коливатись від декількох сантиметрів до декількох десятків метрів).

До групи процесів, що зменшують вміст кисню у воді, відносяться реакції споживання його на окислювання органічних речовин: біологічне (дихання організмів), біохімічне (дихання бактерій, витрата кисню при розкладанні органічних речовин) і хімічне (окислювання Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_2^- , NH_4^+ , CH_4 , H_2S). Швидкість споживання кисню збільшується з підвищенням температури, кількості бактерій та інших водних організмів і речовин, що піддаються хімічному і біохімічному окисленню. Крім того, зменшення вмісту кисню в воді може

відбуватися в процесі виділення його в атмосферу з поверхневих шарів і тільки в тому випадку, якщо вода за даної температури і тиску виявиться пересиченою киснем.

У поверхневих водах вміст розчиненого кисню варіює в широких межах - від 0 до 14 мг/дм³ - і схильний до сезонних та добових коливань. Добові коливання залежать від інтенсивності процесів його продукування і споживання, сягаючи до 2,5 мг/дм³ розчиненого кисню. У зимовий і літній періоди розподіл кисню носить характер стратифікації. Дефіцит кисню частіше спостерігається у водних об'єктах із високими концентраціями забруднюючих органічних речовин та в евтрофованих водоймах, що містять велику кількість біогенних і гумусових речовин.

Концентрація кисню визначає розмір окисно-відновного потенціалу і значною мірою напрямом і швидкість процесів хімічного і біохімічного окислення органічних і неорганічних сполук. Тобто, кисневий режим має суттєвий вплив на життя водойми. Мінімальний вміст розчиненого кисню, що забезпечує нормальний розвиток риб, складає близько 5 мг/дм³. Зниження його до 2 мг/дм³ викликає масову загибель (замор) риби. Неприятливо позначається на стані водного населення і пересичення води киснем у результаті процесів фотосинтезу за недостатньо інтенсивного перемішуванні шарів води.

Як свідчать результати досліджень, максимальний вміст кисню (12-14 мг/дм³) у водоймах України спостерігається в період, що передує льодоставу, на фоні поступового зниження температури. Останнє, з одного боку, призводить до збільшення розчинності кисню, а з іншого - до уповільнення процесів окиснення органічних речовин. У цей час у водному середовищі не накопичується значної кількості іонів амонію, наявність яких потребує значної кількості кисню для їх нітрифікації. Протягом зимової межени, внаслідок перевищення витратної частини балансу газу над прибутковою, вміст розчиненого кисню поступово зменшується.

Навесні, з початком розвитку фітопланктону кількість розчиненого кисню зростає до 10-12 мг/дм³. Однак, подальше збільшення температури води, яка максимально досягає 22-25

°C, призводить до зменшення розчинності кисню. Не зважаючи на розвиток фітопланктону, у червні концентрація розчиненого кисню досягає мінімальних за рік значень – 3,5-4,0 мг/дм³. У літній період у воді збільшується кількість органічних речовин, на окиснення яких активно витрачається розчинений кисень.

Відповідно нормативних вимог до складу і властивостей води водойм пунктів питного і санітарного водокористування вміст розчиненого кисню в пробі, відібраної до 12 годин дня, не повинен бути нижчим 4 мг/дм³ у будь-який період року; для водойм рибогосподарського призначення концентрація розчиненого у воді кисню не повинна бути нижчою 4 мг/дм³ у зимовий період (при льодоставі) і 6 мг/дм³ - у літній.

У рибоводній практиці прийнято, що оптимальний рівень кисню для живлення та росту лососевих риб (за температури 16-19 °C) становить 9,4-10 мг/дм³; осетрових (20-26 °C) – 8,3-9,2 мг/дм³; коропових (27-30 °C) – 7,1-8,4 мг/дм³.

Визначення кисню в поверхневих водах входить до обов'язкової програми спостережень з метою оцінки умов існування гідробіонтів, у тому числі риб, а також як непряма характеристика оцінки якості поверхневих вод (табл. 2.1) і регулювання процесу очищення стоків. Оскільки, вміст розчиненого кисню є принципово важливим для аеробного дихання, він вважається індикатором біологічної активності (тобто фотосинтезу) у водоймі.

Таблиця 2.1

Вміст кисню у водоймах з різним ступенем забруднення

Рівень забруднення та клас якості води	Розчинений кисень		
	літо, мг/дм ³	зима, мг/дм ³	% насичення
Дуже чисті, I	9	14-13	95
Чисті, II	8	12-11	80
Помірно забруднені, III	7-6	10-9	70
Забруднені, IV	5-4	5-4	60
Брудні, V	3-2	3-1	30

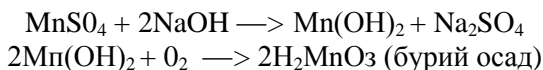
Відносний вміст кисню в воді, виражений у відсотках його нормального вмісту, називається *ступенем насичення*

киснем. Ця величина залежить від температури води, атмосферного тиску і солоності. Так, для нормального кисневого режиму характерним є те, що у холодний період року вода недостатньо насичена киснем, а у теплий період спостерігається незначне перенасичення води O_2 .

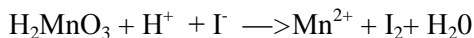
Зниження концентрації кисню в воді супроводжується активізацією процесів денітрифікації і сірководневого бродіння, збільшенням розчинності органічних речовин донних відкладів, підвищенням рухомості заліза, мангану, силіцію і інших елементів. Все це різко погіршує органолептичні показники якості води і гігієнічний стан водойми.

При забрудненні водойми пестицидами і промисловими стоками, які містять сполуки, що легко окислюються, спостерігається різке зниження розчиненого кисню і при цьому ускладнюється визначення дійсного вмісту кисню у воді.

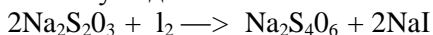
Концентрацію кисню у воді визначають за методом Вінклера різних модифікацій. Суть методу полягає в тому, що при введенні в досліджувану воду лужного розчину солі мангану утворюється білий осад $Mn(OH)_2$, який поглинає розчинений кисень, переходячи в манганцюватисту кислоту (бурий осад).



H_2MnO_3 при підкисленні розчину в присутності йодиду калію виділяє йод, який еквівалентний кількості розчиненого кисню у воді.



Розчин йоду, який виділився, титрують тіосульфатом натрію в присутності крохмалю і за формулою розраховують вміст розчиненого кисню у воді.



Хід роботи

1. Для відбору проб використовують відкалібровані кисневі склянки або бюкси. Для цього попередньо зважують порожній посуд, потім сифонують в нього доверху воду, закривають корком так, щоб не залишилося у воді (в кисневій склянці) бульбашок повітря і витирають насухо. Посуд повторно зважують. Різниця між вагою заповненого і порожнього посуду дає нам об'єм посудини, а значить і об'єм води, взятої для дослідження.

На місці відбору проба відбирається в кисневу склянку і там же безпосередньо консервується додаванням 2 мл $\text{MnSO}_4 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ і 2 мл KI , якщо визначення не буде проводитись в день відбору проби. Подальше визначення розчиненого кисню проводиться в лабораторії.

2. У кисневу склянку або бюкс, заповнені доверху досліджуваною водою, приливають від 0,5 до 2 мл сульфату мангану та йодиду калію (в залежності від об'єму посудини), що призводить до утворення осаду. Склянку закривають, не допускаючи залишку бульбашок повітря. Дають можливість осаду осісти на дно склянки і потім приливають 5 - 10 мл розбавленої сірчаної кислоти. Кисневу склянку закривають і перемішують її вміст. Через 5 хвилин вміст склянки переносять у конічну колбу і титрують розчином тіосульфату натрію до переходу буро - коричневого забарвлення проби до солом'яно - жовтого. Після цього додають декілька крапель розчину крохмалю і продовжують титрувати до знебарвлення синього кольору.

3. Вміст розчиненого кисню (X) в мг/л розраховують за формулою:

$$X = a \cdot K \cdot 8 \cdot N \cdot 1000 / (V_1 - V_2) \quad (1.1)$$

де a - об'єм розчину тіосульфату, витраченого на титрування проби, мл; K - поправка до титру тіосульфату; N - нормальність розчину тіосульфату; 8 - еквівалент кисню; V_1 - об'єм кисневої склянки, мл; V_2 - загальний об'єм реактивів, які доливають в кисневу склянку при фіксації кисню, мл.

4. Ступінь насичення розчиненим киснем (Y) у % знаходять за формулою :

$$Y=X \cdot 100 / C_2 \quad (1.2)$$

де X - знайдена концентрація кисню, мг/л; C_2 - рівноважна концентрація кисню для температури води, яка вимірюється при відборі проби з можливою поправкою на атмосферний тиск і вміст розчинених солей. При нормальному атмосферному тиску ($P=760$ мм.рт.ст.) користуються даними таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Рівноважна концентрація кисню для обчислення насичення киснем

в °C	Розчинений кисень, мг/л									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1	14,25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,90
2	13,86	13,82	13,79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,60	13,56	13,53
3	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17
4	13,13	13,10	13,06	13,03	13,00	12,96	12,93	12,89	12,86	12,82
5	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,62	12,59	12,56	12,53	12,49
6	12,46	12,43	12,40	12,36	12,33	12,30	12,27	12,24	12,21	12,18
7	12,14	12,11	12,08	12,06	12,02	11,99	11,96	11,93	11,90	11,87
8	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58
9	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11,41	11,38	11,35	11,33	11,30
10	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11	11,00	10,98	10,95	10,93	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77
12	10,75	10,72	10,70	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,52
13	10,50	10,48	10,45	10,43	10,40	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14	10,26	10,24	10,22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,10	10,03	10,06
15	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,90	9,88	9,86	9,84
16	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,44	9,42
18	9,40	9,38	9,36	9,34	9,32	9,30	9,29	9,27	9,25	9,23
19	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04
20	9,02	9,00	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	8,90	8,88	8,86
21	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,70	8,68
22	8,67	8,65	8,63	8,62	8,60	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52

продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23	8,50	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,40	8,38	8,37	8,35
24	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,19
25	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,10	8,08	8,07	8,05	8,04
26	8,02	8,01	7,99	7,98	7,96	7,95	7,93	7,92	7,90	7,89
27	7,87	7,86	7,84	7,83	7,81	7,80	7,78	7,77	7,75	7,74
28	7,72	7,71	7,69	7,68	7,66	7,65	7,64	7,62	7,61	7,59
29	7,58	7,56	7,55	7,54	7,52	7,51	7,49	7,48	7,47	7,45
30	7,44	7,42	7,41	7,40	7,38	7,37	7,35	7,34	7,32	7,31

5. Якщо атмосферний тиск відхиляється від значень нормального тиску, то в такому випадку дані, отримані за таблицею 1, перераховують за формулою:

$$C_2^* = C_2 \cdot P / 760 \quad (2.3)$$

де C_2^* - розчинність кисню при 760 мм.рт.ст., мг/л; C_2 - розчинність кисню при тиску P , мг/л; P - атмосферний тиск, мм.рт.ст.

6. Результати досліджень заносять до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Результати визначення вмісту розчиненого у воді кисню

Досліджу- вані зразки води	Вага порожньої кисневої склянки, мг	Вага кисневої склянки з водою, мг	Об'єм кисневої склянки, мл	Кількість тіосульфату, що пішла на титрування, мл	Вміст розчине- ного кисню, мг/л

Обладнання, реактиви, матеріали: кисневі склянки; колби плоскодонні на 250 мл; піпетки на 2 та 5 мл; бюретка на 25 мл; сульфат мангану; йодид калію 15% розчин; сірчана кислота ч.д.а. (розбавлена 1:4); тіосульфат натрію 0,025 н розчин; крохмаль 0,5% розчин.

Рекомендована література

1. Романенко В. Д. Основи гідроекології Київ : Обереги, 2001. 728 с.
2. ДСТУ ISO 5813:2004. Якість води. Визначання розчиненого кисню. Йодометричний метод (ISO 5813:1983, IDT). Київ: Технічний комітет стандартизації «Спиртогорілчані вироби, дріжджі» (ТК 64), 2006. – 7 с.
3. Осадчий В.И., Осадча Н.М. Многолетняя динамика и внутригодовое распределение растворенного кислорода в поверхностных водах Украины // Матер. Третьої Всеукр. наук. конф. “Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. К. : Ніка-центр, 2006. С.122-123.
4. Гольд З. Г. Словарь терминов и понятий по водным экосистемам (биологическая структура, качество вод, охрана) : учеб.-метод. пособ. Красноярск, 2004. 94 с.
5. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., Виниченко В.Н., Аверочкин Е.М. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды : справочные материалы. М. «Эколайн», 2000. 240 с.

Лабораторна робота №3 **Біохімічне споживання кисню**

Мета роботи: Отримати розуміння значення показника біологічного споживання кисню при оцінках стану водойм, засвоїти хіміко-аналітичну методику його визначення.

Основні поняття

Ступінь органічного забруднення вод прийнято характеризувати не тільки за величиною їх окислюваності, але й за показником біохімічного споживання кисню (БСК).

Величина БСК визначається інтенсивністю дихання і росту мікроорганізмів у стічних водах. Кількість мікроорганізмів звичайно залежить від кількості органічних речовин, що легко розкладаються бактеріями в господарсько-побутових стоках. Наприклад, БСК стічної рідини після

первинних відстійників - 200-300 мг $O_2/дм^3$, а БСК стоків сільськогосподарських ферм - декілька тисяч мг $O_2/дм^3$.

Якщо за допомогою будь-якої отруйної речовини знищити мікроорганізми, величина БСК зменшиться. Наприклад, БСК водопровідної води після хлорування дорівнює 0-0,5 мг $O_2/дм^3$. Така ж картина буде спостерігатися і при спуску в водойму отруйних промстоків, що вбивають бактерії.

Необхідно пам'ятати, який біологічний зміст вкладається в поняття БСК. Це тим більш важливо, коли на практиці користуються таким абстрагованим формулюванням: кількість кисню в мг/дм³, спожита до появи в пробі води нітратів і нітритів і називається «повним біохімічним споживанням кисню» - БСК_{повне}. Необхідно також підкреслити, що поняття БСК є відносно умовне. Звичайно на 17-20 добу в пробі води закінчується окислювання легкоокислюваних мікроорганізмами сполук, що містять вуглець. Це практично і відповідає повному БСК, так як при подальшому самоочищенні у воді починають накопичуватися нітрити і нітрати, які зв'язують кисень і БСК перестає відображати мікробіальне забруднення.

Арбітражним аналізом поверхневих і стічних вод є визначення БСК₅ стандартним методом розбавлення.

Проби для визначення БСК не консервують, визначення проводять на протязі 2 годин після відбору і результат виражають в мг $O_2/дм^3$. Визначення проводять за різницею між вмістом кисню до і після інкубації при $t = 20\text{ }^{\circ}C$ без доступу повітря і світла. Термін інкубації - 5 діб. БСК, визначене в таких умовах, називають БСК₅.

У поверхневих водах величини БСК₅ змінюються звичайно в межах 0,5–4 мг $O_2/дм^3$ та зазнають сезонних та добових коливань. Сезонні коливання залежать в основному від зміни температури і від вихідної концентрації розчиненого кисню. Вплив температури позначається через її вплив на швидкість процесу споживання, яка збільшується в 2-3 рази при підвищенні температури на 10 $^{\circ}C$. Вплив початкової концентрації кисню на процес біохімічного споживання кисню пов'язаний з тим, що значна частина мікроорганізмів має свій

кисневий оптимум для розвитку в цілому і для фізіологічної і біохімічної активності.

Добові коливання величин $БСК_5$ також залежать від вихідної концентрації розчиненого кисню, яка може протягом доби змінюватися на $2,5 \text{ мг } O_2/\text{дм}^3$ в залежності від співвідношення інтенсивності процесів його продукування і споживання.

Залежно від категорії водойми величина $БСК_5$ регламентується наступним чином: не більше $3 \text{ мг } O_2/\text{дм}^3$ для водойм господарсько-питного водокористування і не більше $6 \text{ мг } O_2/\text{дм}^3$ для водойм господарсько-побутового та культурного водокористування.

Величина $БСК_5$ часто використовується для інтегральної оцінки ступеня забруднення водойм (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Величини $БСК_5$ у водоймах з різних ступенем забруднення

Ступінь забруднення	$БСК_5, \text{ мг } O_2/\text{дм}^3$
Дуже чисті	0,5–1,0
Чисті	1,1–1,9
Забруднені	2,0–2,9
Брудні	3,0–3,9
Дуже брудні	4,0–10,0

$БСК_{\text{повне}}$ визначають після інкубації від 17 до 20 діб. Можна визначити $БСК_{\text{повне}}$ й теоретично. Воно розраховується за формулою:

$$БСК_{\text{повне}} = БСК_5 \cdot 1,33 \quad (3.1)$$

$БСК$ визначають без розбавлення в водах, де яких вміст розчиненого кисню складає від 0 до $6 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (чисті води). В інших водах (стічних) спочатку роблять розбавлення.

Хід роботи

1. Нерозбавлені проби сифонують в кисневі склянки. Попередньо склянки ополіскують приблизно 50 мл досліджуваної води. Потім заповнюють склянку до самого краю так, щоб не було бульбашок повітря і закривають притертим корком. В одній із двох склянок відразу ж визначають

розчинений кисень, а іншу ставлять в термостат. Через 5 діб інкубації в пробі також визначають вміст кисню за Вінклером.

2. При визначенні БСК у розбавлених пробах, необхідно створити нормальні умови для перебігу аеробних біохімічних процесів. Ці умови будуть виконані, якщо досліджувана проба або суміш з водою для розбавлення буде насичена киснем перед початком визначення, і якщо в час інкубаційного періоду пройде зниження концентрації кисню на 2 мг/дм^3 і більше, але так, щоб залишкова концентрація кисню на 5-ту добу дорівнювала не менше 3 мг/дм^3 .

3. Розведення проби розраховують за величинами перманганатної (ПО) або дихроматної (ХСК) окислюваності:

- при перерахунку з ПО: а) визначають, у скільки разів треба розвести пробу (X): $X = \text{ПО} \cdot 3/4$; б) знаходять об'єм проби для аналізу, мл (Y): $Y = 1000/X$.

- при перерахунку з ХСК: а) визначають, в скільки разів треба розвести пробу (X): $X = \text{ХСК}/5$; б) визначають об'єм проби в мл, яку треба взяти для аналізу (Y): $Y = 1000/X$.

4. Підраховану кількість води переносять у колбу або циліндр, доводять розведенням водою з добавками (по 1 мл FeCl_3 , CaCl_2 , MgSO_4 , фосфатного буферного розчину: KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , Na_2HPO_4 , NH_4Cl на 1 дм^3 води) і ретельно перемішують. Сифонують в дві кисневі склянки. В одній склянці визначають відразу ж розчинений кисень, а другу ставлять на інкубацію в термостат на 5 діб.

5. Обов'язково визначають вміст розчиненого кисню і в воді, якою проводиться розбавлення (вміст не повинен перевищувати $0,3 \text{ мг/дм}^3$).

6. Для не розбавлених проб:

$$БСК_5 = a - v \quad (3.2)$$

7. Для розбавлених проб :

$$БСК_5 = (a - v) - (a_1 - v_1) \cdot 1000 / V_a \quad (3.3)$$

де a - вміст розчиненого кисню в перший день, мг/дм^3 ; v - вміст розчиненого кисню через 5 діб, мг/дм^3 ; a_1 - вміст розчиненого кисню в воді для розведення на перший день, мг/дм^3 ; v_1 - вміст розчиненого кисню в воді для розведення через 5 діб, мг/дм^3 ; V_a - об'єм проби, взятий для аналізу, мл.

8. Результати аналізу зводять у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Результати аналізу біохімічного споживання кисню в пробах
ВОДИ

Досліджу- вані зразки води	Вага порожньої кисневої склянки або бюкса, г	Вага кисневої склянки (бюкса) з водою, г	Об'єм кисневої склянки (бюкса), мл	Кількість тіосульфату натрію, що пішла на титрування, мл	Вміст розчиненого кисню, мг/л	
					1-ий день	5-та доба

Обладнання, реактиви, матеріали: кисневі склянки; термостат; мікрокомпресор; всі ті ж самі реактиви, що застосовуються для визначення розчиненого кисню; кальцій хлористий ч.д.а; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; фосфатний буферний розчин $\text{pH} = 7,2$; вода для розбавлення.

Рекомендована література

1. MBV 081/12-0014-01 Поверхневі води. Методика виконання вимірювань біохімічного споживання кисню (БСК₅). Київ: Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП). 2002. 7 с.

Практична робота №4

Динаміка форм азоту в водоймах. Визначення вмісту аміаку за Неслером

Мета роботи: ознайомитися з методом визначення аміаку в різних водах (питна, озерна, стічна), порівняти отримані дані з нормативними показниками.

Основні поняття

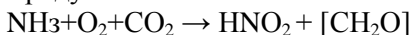
У природній воді аміак утворюється при розкладі азотовмісних органічних речовин. Добре розчинний у воді з

утворенням гідроксиду амонію. В санітарно-гігієнічній практиці, поряд з такими обов'язковими показниками як окислюваність, кількість бактерій і БСК, визначають концентрації трьох сполук азоту: аміаку, нітратів та нітритів.

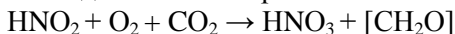
Це необхідно робити тому, що форми азоту не тільки індикатори органічного забруднення водою і ступеня їх мінералізації, а й індикатори їх токсичності.

У літературі описано багато випадків в країнах Європи, Америки токсичного ціанозу у немовлят зі смертельними наслідками, які супроводжувались метагемоглобінемією. Причиною захворювання був високий вміст нітратів у воді, яка використовувалась для розбавлення дитячої суміші при штучному годуванні дітей.

Аміак накопичується у воді в процесі дезамінування в результаті протеолізу білків рослинного і тваринного походження, яке здійснюють гетеротрофні гнилість (амоніфікуючі) бактерії в аеробних і анаеробних умовах в результаті автолізу клітин. Потім аміак окислюється мікроорганізмами в аеробних умовах до нітритів. Цю функцію здійснюють бактерії роду *Nitrosomonas*.



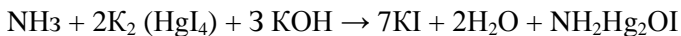
Нітрити, внаслідок дії бактерій роду *Nitrosomonas* на другому етапі процесу нітрифікації, окислюються до нітратів, які являються основою для живлення рослин:



Таким чином, гнилістьні бактерії і нітрифікатори здійснюють процес самоочищення водою і являються однією з основних ланок в кругообігу азоту водою.

Якщо взяти воду в якусь посудину, поставити її за кімнатної температури, то через деякий час буде спостерігатися посилення запаху аміаку у воді. Це свідчить про її органічне забруднення, тому що в цій воді посилюються бактеріальні процеси розкладу органічних речовин з виділенням аміаку.

Метод визначення аміаку оснований на утворенні сполуки жовтого кольору йодистого меркурамонію, яка утворюється при взаємодії іона NH_4^+ з реактивом Неслера згідно рівняння:



Хід роботи

1. В мірну колбу на 100 мл наливають на 2/3 досліджуваної води. До досліджуваної води приливають 2 мл сегнетової солі і 2 мл реактиву Неслера. Розчин ретельно перемішують, доводять до мітки досліджуваною водою і через 5 хвилин відстоювання фотокolorиметрують. Світлофільтр - 440 нм, кювета з товщиною поглинаючого шару 10 мм.

2. Паралельно готують і холосту пробу (дистильована вода з додаванням усіх реактивів). Розрахунок проводять за формулою :

$$X = 100 \cdot C / V \quad (4.1)$$

де X - кількість аміаку в мг/дм^3 ; C - концентрація аміаку, визначена за калібрувальним графіком, мг/дм^3 ; V - об'єм води, який взятий для визначення, мл.

Рибогосподарський норматив для вод першої категорії водокористування по аміаку дорівнює $0,5\text{--}0,75 \text{ мг/дм}^3$. Норматив для питної води становить $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Екологічний оптимум для водойм - $0,5 - 0,75 \text{ мг/дм}^3$.

3. Для перерахунку NH_3 в загальний азот отриманий результат ділять на коефіцієнт 1,285:

$$K = \text{Mr}(\text{NH}_4^+) / \text{Mr}(\text{N}) = 1,28 \quad (4.2)$$

де $M_2(\text{NH}_4^+)$ - молекулярна вага NH_4^+ ; $M_2(\text{N})$ - молекулярна вага N.

4. Отримані результати представляють у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Результати аналізу заносимо в таблицю

Досліджувані зразки води	Об'єм води, взятий для визначення, мл	Концентрація NH_4^+ , визначена за графіком, мг/л	Концентрація NH_4^+ , мг/л	Концентрація NH_4^+ , мг N/л

Обладнання, реактиви, матеріали: мірні колби на 100 мл; піпетки на 2 мл; кювети на 10 мл; КФК – 2; сегнетова сіль; реактив Неслера.

Рекомендована література

1. Вода питьевая. Методы анализа. Государственные стандарты Союза ССР. М., 1984. 348 с.

2. Куценко С.А. Основы токсикологии / С.А. Куценко // – С. Пб., 2002. 818 с.

3. ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» від 1 липня 2010 р. за № 452/17747.

4. ДСТУ ISO 8466-1-2001 Якість води. Визначання градувальної характеристики методик кількісного хімічного аналізу. Частина 1. Статистичне оцінювання лінійної градувальної характеристики (ISO 8466-1:1990, IDT). Київ: Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП). 2003. 11 с.

Практична робота №5

Методи і знаряддя збору гідробіологічних проб води у водоймах різного типу

Мета роботи: *Ознайомитися з правилами та приладами відбору проб води для проведення гідробіологічного аналізу та методами обліку організмів фіто- та зоопланктону.*

Основні поняття

Фітопланктон. Фітопланктон має велике значення в кругообігу речовин. Водорості разом з вищою водною рослинністю утворюють з мінеральних речовин органічні. Завдяки своїй життєдіяльності вони впливають на хімічний склад і газовий режим води, використовуючи біогенні речовини для побудови свого тіла, поглинаючи вуглекислий газ і виділяючи кисень. Ці автотрофні фото синтезуючі організми є основним джерелом живлення різних водних тварин, зоопланктон них, зообентос них та риб-фітопланктофагів. Відмираючи, водорості постачають харчовий субстрат для

бактерій, утворюють детрит, сприяють розвитку консументів різних видів.

Негативне значення фітопланктону полягає в тому, що спад “цвітіння” води влітку, пов’язаний з масовим відмиранням синє-зелених водоростей у водоймах. Це викликає порушення кисневого режиму, задуху, пригнічення розвитку зоопланктону і зообентосу, погіршує загальний санітарний стан водойм.

Таким чином, роль фітопланктону визначається не тільки фактом наявності певних видів індикаторів, але й ступінню їх кількісного розвитку. Вивчення таких характеристик як видовий склад, чисельність, біомаса, розподіл водоростей у водоймі дає можливість здійснювати комплексну оцінку екологічного стану водойм.

Методи збору. Відбір кількісних проб фітопланктону на глибоководних водних об’єктах здійснюється батометром з глибин 0; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0 м і т. д. потім проби, відібрані з кожної глибини, зливаються в чисте відро і добре перемішуються, після чого відбирається середня проба об’ємом 0,5 л. Додаючи у відібрану пробу 5 – 7 мл 40%-ного формаліну, який не повинен мати осаду, пробу фіксують.

На малих річках і мілководдях пробу фітопланктону відбирають простим черпанням води з глибини 0,3 – 0,5 м і заповненням нею 0,5 л пляшки. Пробу відразу ж фіксують 5 – 7 мл 40%-ного формаліну.

Для якісного відбору проб фітопланктону використовують планктонну сітку Апштейна (газ №77), яка має вигляд конуса. Верхня частина пришивається за рахунок бавовняної тканини до металічного кільця, а нижня частина прикріплюється до стаканчика. Перед початком роботи сітку промивають у воді і закривають затискачем.

В глибоких місцях проводять тотальний лов від дна до поверхні, а на мілководдях ємкістю (літрово кружка, відро, банки тощо) з горизонту 0,3 – 0,5 м на відстані більше 1 м від берега. Зачерпують не менше 30 л води і проціджують її крізь планктонну сітку Апштейна, де проходить її фільтрація і збирання фітопланктону у стаканчику. Черпати слід по течії води середнім темпом з невеликими перервами.

Після того, як через сітку профільтрували на менше 30л води, осад з планктонного стаканчика переливають в посудину для відбору проби, відкриваючи затискач. Потім затискач закривається і сітку знову занурюють у водойму або у відро з водою для споліскування. Змиті організм знову переносять в пробу. Необхідно слідкувати, щоб при споліскуванні в сітку не потрапила нова порція води крізь вхідний отвір. Проба фіксується 5 – 7 мл 40%-ного формаліну.

Для кожної відібраної проби заповнюється етикетка:

Назва проби. 1. Назва водойми. 2. Назва пункту відбору. 3.

Назва створу. 4. Дата відбору (число, місяць, рік). 5. Об'єм профільтрованої проби.

Обробка проб у лабораторії. Пляшка з пробою повинна відстоятись в затемненому місці. Всі синьо-зелені водорості концентруються у поверхневому шарі, а інші, більш важки види, осідають на дно. Після відстоювання відціджується сифоном середній порожній шар води. Ця операція проводиться дуже обережно. Щоб не збовтати пробу вода випускається дуже повільно краплями. Осад концентрується до об'єму 20 – 50 – 100 мл і зберігається до обробки.

Для проведення обробки проб використовується обладнання: мікроскоп, окуляр-мікрометр, штемпель-піпетка з об'ємом відбору зразка проби 0,1 мл, лічильна камера визначеного об'єму або поліноване предметне скло, покривне скельце, мірні склянки ємкістю 50, 100 і 200 мл, гліцерин.

Згущена проба виливається в мірний посуд, добре перемішується і штемпель-піпеткою відбирається зразок, що поміщається на предметне скло, або в лічильну камеру, голкою додається гліцерин і накривається покривним скельцем. Препарат спочатку продивляються під мікроскопом з метою встановлення видового складу, користуючись відповідними визначниками.

Розрахунок чисельності водоростей в 1 л води проводиться за формулою С.А. Кражан і Л.І. Лупачової:

$$N = \frac{n \cdot 10 \cdot V_1 \cdot 1000}{V} \quad (5.1)$$

де N – кількість водоростей в 1 л; n – кількість водоростей в 0,1 мл; V_1 – об'єм проби після згущення; V – первинний об'єм проби.

Розрахунок біомаси фітопланктону проводиться методом складання біомас окремих популяцій. Більшість видів водоростей мають форму кулі, циліндра, еліпсоїда або двох конусів. Знайдений для кожної клітини об'єм (в мкм^3) помножується на її чисельність. Значення біомаси одержують в мг/л або г/м^3 з точністю до 0,01. Питома вага водоростей умовно приймається рівною одиниці.

Оперативний контроль. Розвиток фітопланктону у водоймах можна також визначити за кольором води, опускаючи індикаторний диск Секкі на половину індикаторної прозорості. При цьому керуються таким відношенням кольору і екологічних умов:

1. Вода має зеленуватий відтінок – це добрий фізіологічний стан фітопланктону і нормальні екологічні умови водойми.

2. Вода чиста, блакитна з високою прозорістю – означає низький вміст фіто- і зоопланктону.

3. У воді зеленувато-синій хлоп'я при низькій прозорості – означає початок масового відмирання синьо-зелених водоростей, загрозу задухи вищих форм гідробіонтів, незадовільний екологічний стан.

4. Пожовтіння води при малій прозорості – дефіцит кисню, загроза задухи або задуха.

5. Оранжево-жовта вода з прозорістю вище норми свідчить про нестачу планктону та погані гідрохімічні показники.

Зоопланктон. Роль зоопланктону в трансформації енергії і біотичному кругообігу речовин, що визначають продуктивність водойм дуже велика. Мирні зоопланктонні безхребетні тварини живляться бактеріями, детритом та водоростями. Таким чином, зоопланктон діє як природний бактеріальний фільтр. Він помітно впливає на чисельність фото синтезуючих водоростей фітопланктону, регулюючи кисневий

режим. Крім того, зоопланктонні організми – це основний корм для личинок риб, молоді та дорослих риб-зоопланктофагів.

Методи збору. Для відбору проб на зоопланктон також використовують планктонну сітку Апштейна (газ №77). Перед початком роботи сітку промивають у річці і закривають затискачем.

Відбір проб зоопланктону здійснюється таким чином: літровою кружкою або відром з глибини 0,3 – 0,5 м на відстані більш ніж 1 м від берега зачерпують 50 л води. Воду виливають в сітку Апштейна, де і проходить її фільтрація і концентрація зоопланктону в планктонному стаканчику. Черпають по течії річки, середнім темпом з невеликими перервами.

Після того, як профільтрували 50 л води, відкривають затискач і осад з планктонного стаканчика переноситься в підготовлений для відбору проби посуд. Потім затискач закривають і сітку занурюють у водойму або у відро з водою, коли мала глибина або сильна течія, але так, щоб у вхідний отвір не потрапила нова вода. Змиті зі стінок залишки проби, зливаються в ту ж посуду.

Консервація зоопланктонних проб проводиться 4%-ним формаліном (1 частина чистого формаліну на 9 частин води). Кожна проба етикетується (зразок етикетки наведений вище), її дані записують у щоденник або польовий журнал.

Посуд з пробами зберігається в захищеному від попадання прямих сонячних променів приміщенні при температурі не нижче 10°C.

Обробка проб. Якісний і кількісний склад зоопланктону визначається в лабораторії під мікроскопом. Кількісний облік планктону проводять об'ємним або лічильним методом.

Об'ємний метод – це експрес-метод визначення біомаси зоопланктону безпосередньо під час зйомок на водоймах.

Один з прийомів експрес-методу полягає в тому, що зафіксовану пробу виливають в мірний циліндр і визначають об'єм осаду. Вміст зоопланктону в 1 м³ розраховують шляхом множення об'єму осаду (см³) на відповідний коефіцієнт (K): K=40 при проціджуванні у водоймі 25 л води, K=20 при проціджуванні 50 л, K=10 при проціджуванні 100 л води.

Другий спосіб розрахований на обробку матеріалу в лабораторних умовах. Пробу зоопланктону проціджують крізь сито №70-76. Осад підсушують на фільтрувальному папері до зникнення мокрих плям, зважують на терезах разом з шматком сита. Масу шматка вологого сита визначають заздалегідь. По різниці мас визначають біомасу планктону. Знаючи об'єм профільтрованої через планктонну сітку води, можна визначити біомасу зоопланктону в 1 м^3 .

Основний метод камеральної обробки зібраного матеріалу – це лічильний. Пробу зоопланктону переливають у мірний циліндр, доводять її об'єм до 100 см^3 , перемішують штемпель-піпеткою, відбирають зразок 0,5 або 1,0 мл і виливають в камеру Богорова, або на лічильне скло. Рахують кількість організмів різних видів. Ця операція проводиться двічі. Якщо результати мають близькі показники, беруть середню величину для розрахунків. При великих розходженнях вивчають третю порцію. Після цього всю пробу продивляються під біокулярним мікроскопом для визначення видового складу та підрахунку одиничних екземплярів.

Розрахунок чисельності. Дані з чисельності зоопланктону повинні бути представлені як кількість організмів в одиниці об'єму (екз/м^3) або в стовпі води (наприклад, кількість під м^2 поверхні – екз/м^2). Як правило, при порівнянні чисельності зоопланктону в різних водоймах, використовуються дані з кількості екземплярів в одиниці об'єму, а при зіставленні результатів визначення чисельності зоопланктону та фітопланктону, кількості риб і т. ін., використовуються величини середньої чисельності під м^2 поверхні.

Розрахунок кількості організмів в 1 м^3 , якщо проба відібрана шляхом проціджування певного об'єму води через сітку Апштейна, проводиться за формулою:

$$N = \frac{n \cdot 1000}{V} \quad (5.2)$$

де N – кількість організмів в 1 м^3 води, екз/м^3 ; n – кількість організмів у пробі, екз. ; V – об'єм води, процідженої через сітку, л.

Розрахунок біомаси. Наступним етапом кількісної обробки проб зоопланктону є одержання даних з біомаси. Сумарна вага безхребетних визначається множенням середньої індивідуальної маси кожного організму на його чисельність. Дані індивідуальних мас зоопланктерів наведені в роботах І.А. Кисельова та Ф.Д. Мордухай-Болтовського.

Визначення і підрахунок організмів проводять по трьох основних групах: коловертки (Rotatoria), веслоногі (Copepoda) та гіллястовусі (Cladocera) ракоподібні. До групи “інші” відносяться види, що не входять до вказаних систематичних одиниць.

Зообентос. Видова різноманітність організмів зообентосу в кожному конкретному випадку свідчить про деякі особливості даної водойми, наприклад солоність води, проточність, характер донного ґрунту. Бентосні безхребетні входять до складу організмів-індикаторів забруднення водойми.

Відбір кількісних проб зообентосу на малих і середніх річках здійснюється трубчастим донним черпаком або сачком чи шкребачкою. В декількох точках з різним характером дна трубчастим донним черпаком на доступній глибині вирізається шар ґрунту на $\frac{2}{4}$ – $\frac{3}{4}$ об’єму трубки (7-8 см) на кожному створі відбирається 2 – 4 трубки. Кількість трубок, які відбираються на створі, залежить від типу ґрунту і кількості організмів в пробі.

На мулистих ґрунтах береться 2-3 трубки, так як там, в основному, багато організмів. На бідних піщаних відбирається 3-4 трубки.

Відібраний ґрунт переносять в таз. Потім проводять промивку проби. Ґрунт переносять в сачок-промивалку або скребок і промивають водою поки промивні води не стануть світлими. Залишок зі скребка (організми разом з частиною ґрунту) переносять за допомогою пінцета в банку.

Для відбору зразка з піщаного ґрунту річок треба пробу перед промивкою через сачок або скребок піддати відмочуванню. Для цього пробу з донного черпака переносять в таз, наливають води до $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{2}$ об’єму глибини тазу. Рукою вода з ґрунтом приводиться в стан руху так, щоб підняти в воду

зоофауну, не даючи організмам осісти на дно. Воду з тазу швидко виливають в сачок-промивалку чи скребок. Так продовжують робити до тих пір, поки промивні води не стануть світлими. Після цього залишок ґрунту в тазу оглядається. Всі організми, які залишились, відбираються, а залишок відкидається.

Після промивки організми з сачка-промивалки чи скребка переносять в банку, консервують і забезпечують етикетками. Об'єм консервованого матеріалу не повинен перевищувати 1/2 - 2/3 об'єму банки, вільний об'єм заповнюється водою і 40%-ним формаліном з розрахунку 1/10 частина банки – 50 мл на банку 0,5 л.

Відбір якісних проб зообентосу здійснюється сачком або скребком. Тварин на водній рослинності ловлять скребком чи вручну. Скребок проводять проти течії річки декілька разів по рослинності в зоні її повного занурення у воду. Відцідивши воду, відбирають з скребка виловлених тварин пінцетом і переносять в банку (попередньо банку на 1/4 об'єму заповнюють водою).

Декілька екземплярів різних рослин, занурених повністю в воду, виринають з коренем і промивають в тазу. Таким чином знімаються рухомі тварини. Потім рослину і особливо кореневу систему уважно обстежують і пінцетом чи вручну збирають прикріплених тварин. Воду з тазика можна процідити через скребок і вміст скребка перенести в банку.

Рухомі організми бентосу, які можуть знаходитись в товщі води, вловлюють скребком, здійснюючи плавні рухи вперед по дну проти течії річки, кожний раз після чергового змаху виймаючи скребок з води і оглядаючи його.

Більших тварин з сачка в банку переносять пінцетом, а дрібних змивають зі стінок скребка струменем води (з кружки) і концентрують в нижній округлій частині скребка. Вивернувши мішок, переносять тварин безпосередньо в банку, занурюючи частину мішка з фауною в банку з водою.

При зборі тварин з ґрунту в декількох точках з різним характером ґрунту скребком на достатній глибині зрізується шар ґрунту на глибину ріжучої пластинки, при цьому скребок

притискають до ґрунту і приводять по дну на відстань 0,5 м або менше. Ґрунт з скребка переносять в таз, наповнивши його до половини. Якщо ґрунт являє собою мул (при розтиранні пальцями не відчувається пісок), то його переносять в сачок-промивалку, де промивають до світлої води.

Залишок у сачку-промивалці змивають в центральну частину мішка, поливаючи з кружки водою внутрішню поверхню мішка. Потім мішок вивертають над банкою і, занурюючи центральну частину сачка в банку, змивають залишки тварин з ґрунту в банку.

Зібраний матеріал в банках, разом з ґрунтом повинен займати не більше $1/2 - 2/3$ вмісту банки і, тому якщо весь матеріал не входить в одну банку його можна розмістити в дві – три. Залишковий простір банки заповнюють водою і 40%-ним формаліном.

З каменів тварин збирають вручну на доступній глибині. Каміні різних розмірів обережно відділяють від ґрунту, так як рухомі організми швидко втікають, і переносять в таз з водою. Частина тварин з каменів переходить у воду, яку потім проціджують через сачок. Каміні над тазом уважно оглядають і всіх виявлених тварин переносять в банку з водою. Уважно оглядають і нарости на каменях, які можуть бути домівками для ручейників і трубкамі личинок хірономід. Таким чином, оглядають не менше 5 каменів різного розміру, потім воду з тазика профільтровують через сачок-промивалку і переносять в банку для фіксації. Їмкості з відібраними пробами забезпечуються етикетками з лейкопластиру. Запис роблять олівцем або кульковою ручкою.

Рекомендована література

1. Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. Водоросли. Справочник. и др. Киев : Наук, думка, 1989. 608 с.
2. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. – 241 с.
3. Хижняк М.І., Євтушенко М.Ю. Методологія вивчення угруповань водних організмів : Навчальний посібник. Київ : Український фітосоціологічний центр, 2014. 269 с.

Практична робота №6

Зони сапробності і індикаторні організми

Мета роботи: Оволодіти методикою розрахунку індексу сапробності прісних вод за співвідношенням видів планктонних організмів.

Основні поняття

При індикації забруднення прісних вод широко вживаною є система сапробності, що враховує здатність гідробіонтів розвиватись у воді з тим чи іншим вмістом органічних речовин.

Для багатьох водних організмів помірний рівень забруднення є нормальним для їх існування. Інша частина видів не витримуючи навіть невеликого забруднення зникає. За переважанням тих або інших груп гідробіонтів і проводиться індикація забруднення води органічними і біогенними речовинами. Організми, які зазвичай використовують як біоіндикатори, відповідальні за самоочищення водойми, беруть участь у створенні первинної продукції, здійснюють трансформацію речовин у водних екосистемах.

За ступенем забруднення поверхневих вод органічними речовинами прийнято виділяти три зони: полісапробна, мезосапробна та олігосапробна. В межах мезосапробної зони розрізняють альфа- та бета-мезосапробність, які тяжіють відповідно до більш забрудненої полісапробної та більш чистої олігосапробної зон.

Полісапробна зона (p). Характеризується значним вмістом нестійких органічних речовин і наявністю продуктів їх анаеробного розкладу (метан, сірководень). Кисень відсутній, є багато органічного детриту, проходять відновні процеси, залізо знаходиться в формі Fe^{3+} , мул має чорне забарвлення з запахом сірководню. В цій зоні дуже багато сапрофітної мікрофлори. Добре розвинені гетеротрофні організми: нитчасті бактерії (*Sphaerotilus*), сірчані бактерії (*Beggiatoa*, *Thiothris*), бактеріальні зооглеї (*Zoogloea ramigera*), найпростіші - інфузорії (*Paramecium putrinum*, *Vorticella putrina*), безбарвні джгутикові, олігохети (*Tubifex tubifex*), водорості (*Polytoma uvella*) (рис. 6.1).

Альфа-мезосапробна зона (α). В цій зоні починається аеробний розклад аеробний розклад органічних речовин з утворенням аміаку, міститься багато вугільної кислоти, кисень присутній у малій кількості. У воді і донних відкладах протікають окислювально-відновні процеси, залізо в закисній і окисній формах, мул сіруватого кольору. Тут розвиваються організми, які мають велику стійкість до нестачі кисню та і великого вмісту вугільної кислоти. Переважають рослинні організми з гетеротрофним та міксотрофним живленням. Кількість сапрофітних бактерій визначається десятками і сотнями тисяч в 1 мл. Окремі організми розвиваються в масі: бактеріальні зооглеї, нитчасті бактерії, гриби, з водоростей - осцилляторії, стігеоклоніум, хламідомонас, евглена. Масово зустрічаються сидячі інфузорії (*Carchesium*), коловертки (*Brachionus*), багато забарвлених і безбарвних джгутикових. У мулах багато тубіфіцид (олигохет) і личинок хірономід (рис. 6.2).

Бета-мезосапробна зона (β). Відмічається у водоймах, майже звільнених від нестійких органічних речовин, розклад яких дійшов до утворення окиснених продуктів (повна мінералізація). Концентрація кисню і вугільної кислоти сильно коливається на протязі доби, в денний час вміст кисню у воді доходить до пересичення і вугільна кислота може повністю зникати. В нічні години спостерігається дефіцит кисню в воді. В мулах багато органічного детриту, інтенсивно протікають окислювальні процеси, мул жовтого кольору. В цій зоні велике різноманіття рослинних і тваринних організмів (рис. 6.3). Масово розвиваються рослинні організми з автотрофним живленням, спостерігається цвітіння води багатьма представниками фітопланктону. В обростаннях – звичайні зелені нитчасті та епіфітні діатомеї, у мулах – черв'яки, личинки хірономід, молюски.

Олігосапробна зона (o). Характеризує практично чисті водойми з незначним вмістом нестійких органічних речовин і невеликою кількістю продуктів їх мінералізації. Вміст кисню і вугільної кислоти не зазнає помітних коливань в денні і нічні години доби. Цвітіння водоростей, як правило не спостерігається.

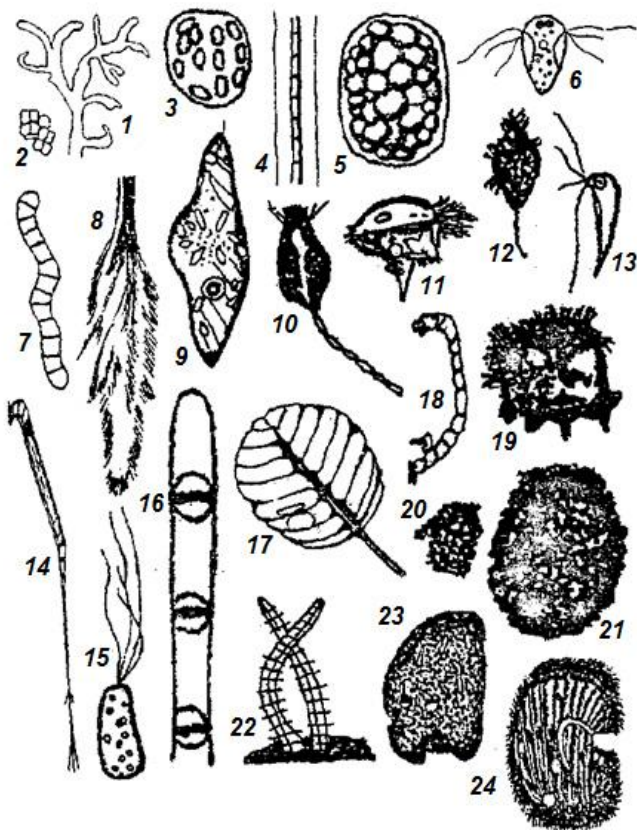


Рис. 6.1. Організми полісапробної зони:

1 – *Zooglea ramigera*; 2 – *Sarcina paludosa*; 3 – *Chlorobacterium aggregatum*; 4 – *Sphaerotilus natans*; 5 – *Achromatium oxaliferum*; 6 – *Trimonas compressa*; 7 – *Spirulina jennery*; 8 – *Sphaerotilus natans*; 9 – *Euglena viridis*; 10 – *Vorticella microstoma*; 11 – *Coenomorpha medusula*; 12 – *Trimonas compressa*; 13 – *Tetramitus pyriformis*; 14 – *Rotaria neptunia*; 15 – *Chromatium okenii*; 16 – *Oscillatoria putrida*; 17 – *Lamprocystis roseopersicina*; 18 – *Chironomus thummi*; 19 – *Saprodinium dentatum*; 20 – *Hexotricha caudata*; 21 – *Glaucoma scintillans*; 22 – *Tubifex rivulorum*; 23 – *Pelomyxa palustris*; 24 – *Paramaecium putrinum*

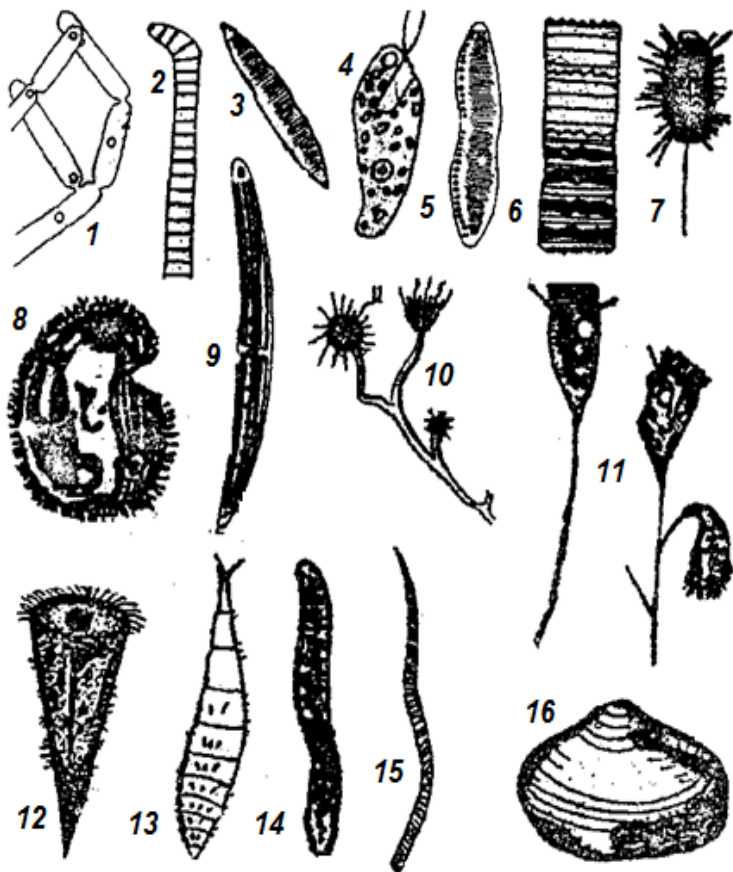


Рис. 6.2. Організми α -мезосапробної зони

1 – *Leptomitius lacteus*; 2 – *Oscillatoria Formosa*; 3 – *Nitzschia palea*; 4 – *Chilomonas paramaecium*; 5 – *Nintzschia ampioxys*; 6 – *Stephanodiscus hantzschii*; 7 – *Uronema marinum*; 8 – *Chilodonella uncinata*; 9 – *Closterium ocerosum*; 10 – *Anthophysa vegetans*; 11 – *Vorticella convallaria*; 12 – *Stentor coeruleus*; 13 – *Larve Stratiomus*; 14 – *Spirostomum ambiguum*; 15 – *Herpobrella atomapia*; 16 – *Sphaerium corneum*

В донних відкладах мало органічного детриту, автотрофних організмів і бентосних тварин (черв'яків, личинок хірономід, молюсків). Показниками значної чистоти води в цій зоні є деякі червоні водорості (*Thorea*, *Batrahospermum*) і водні мохи (рис. 6.4).

Необхідно пам'ятати, що окремі індикаторні організми, які взяті ізольовано, не можуть достатньо точно охарактеризувати ступінь забруднення води. Наприклад, при розкладі білків у господарсько-фекальних стоках накопичується сірка, внаслідок чого в цих водах можуть у великій кількості зустрічатися сіркобактерії (*Beggiataea*, *Triothrix*). Разом з тим, вказані бактерії живуть у воді мінеральних сірчаних джерел, абсолютно не вміщуючих органічних забруднень. Сіркобактерії є індикаторами сірки в воді, незалежно від того, якого походження ця сірка. Наведений приклад наочно ілюструє, що судити про ступінь забруднення вод з достатньою достовірністю можна лише за наявністю в останній ценозів, що характерні для тієї чи іншої зони сапробності, а не окремих, навіть індикаторних, організмів.

Хід роботи

1. Збирають і фіксують біологічний матеріал фітопланктону (див. роботу №10) із водойми, для якої необхідно оцінити зону сапробності.

2. Розглядають проби в мікроскоп і за допомогою гідробіологічних визначників встановлюють видову гідробіонтів.

3. Для індикації сапробності по фітопланктону користуються методом індикаторних організмів Пантле і Букка в модифікації Сладечка. Метод включає визначення відносної частоти зустрічі гідробіонтів (h) і їх індикаторної значимості (S). Визначення h проводять за оковимірною шкалою: 9,0 – у полі зору багато організмів; 7,0 – часто зустрічаються в кожному полі зору; 5,0 – нерідко; 3,0 – дуже зрідка; 1,0 – поодинокі.

4. Індикаторну значимість S і зону сапробності визначають за списком сапробних організмів.

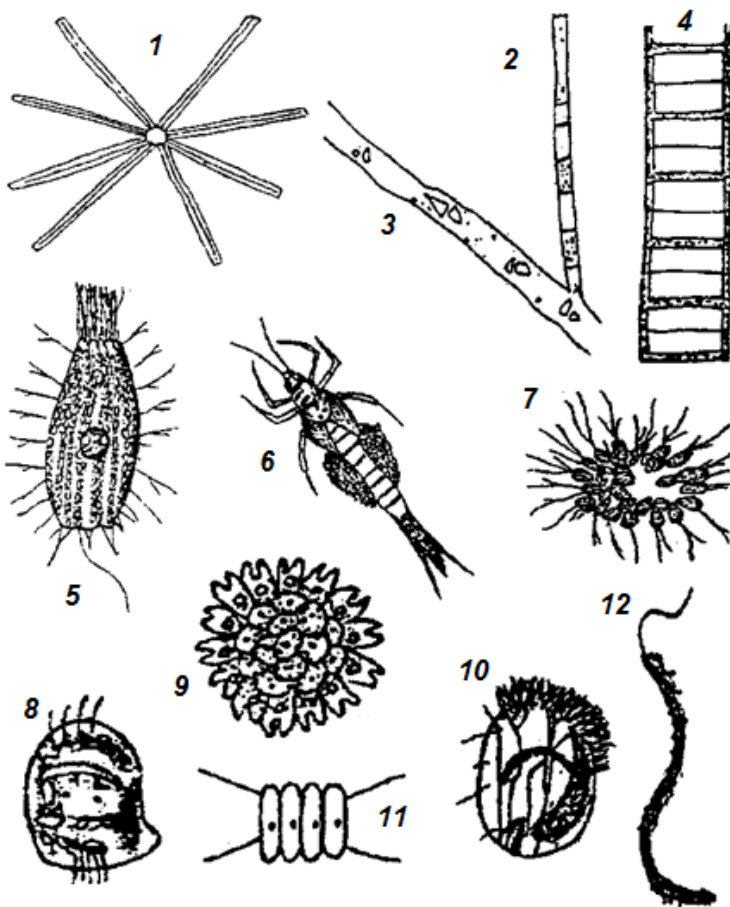


Рис. 6.3. Організми Б-мезосапробної зони

1 – *Asterionella Formosa*; 2 – *Oscillatoria rubescens*;
 3 – *Jscillatoria redekii*; 4 – *Melorisa varians*; 5 – *Coleps hirtus*;
 6 – *Larve Cloen dipterum*; 7 – *Uroglena volvox*; 8 – *Aspidisca lyncens*;
 9 – *Pediastrum boruanum*; 10 – *Euplotes charon*;
 11 – *Scenedesmus gvadricauda*; 12 – *Stylaria lacustris*



Рис. 6.4. Організми олігосапробної зони

1 – *Cuclotella bodanica*; 2 – *Larve oligoneuria rhenana*; 3 – *Holapedium gibberum*; 4 – *Fontinalis antipuretica*; 5 – *Staurostrum punctuatum*; 6 – *Planaria gonocephala*; 7 – *Surirella spiralis*; 8 0 *Tobellaria flocculosa*; 9 – *euastrum obiongum*; 10 – *Micrasterias truncata*; 11 – *Bulbochaete mirabilis*; 12 – *Batrochospermum vagum*; 13 – *Larve Perla bipunnnnctata*; 14 – *Ulotrix zonata*; 15 – *Mallomonas caudata*; 16 – *Vorticella nebulifera* vor. *similis*; 17 –

Holtera currifera; 18 – *Stombidinopsis gurans*; 19 – *Nothalka longispina*; 20 – *Cladophora glomerata*; 21 – *Lemanea annucata*

5. Індекс фітоіндикації за фітопланктоном розраховують згідно формули 6.1:

$$f = \frac{\sum (s \cdot h)}{\sum h} \quad (6.1)$$

Для статистичної достовірності необхідно, щоб у пробі було не менше 12 індикаторних видів загальною сумою зустрічаємості $h=30$ (*Protozoa*, *Rotatoria*, *Cyanophita*).

6. У тому випадку, коли в пробах, відібраних на одному місці, вивчається декілька різних груп біоценозу, розрахунок ведуть за формулою:

$$f_m = \frac{s_1 \sum h_1 + s_2 \sum h_2 + s_3 \sum h_3 \dots s_i \sum h_i}{\sum h_1 + \sum h_2 + \sum h_3 \dots \sum h_i} \quad (6.2)$$

де f_m – середній індекс; S_1, S_2, S_i – індекс сапробності окремих співтовариств (макрофлора, макрофауна, обростання), або декілька проб одного співтовариства; h_1, h_2, h_i – суми значень частоти зустрічі окремих співтовариств або декількох проб одного співтовариства.

Величину індикаторної значимості визначають за даними табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Індикаторна значимість організмів різних зон сапробності

Індикаторні організми	S	Умовні позначення сапробної зони
Організми ксеносапробної зони	0	χ
Організми олігосапробної зони	1	σ
Організми бета-мезосапробної зони	2	β
Організми альфа-мезосапробної зони	3	α
Організми полісапробної зони	4	ρ

Величина розрахованого індексу визначає зону сапробності, яка співвідноситься з класом якості води: 0,0-0,50 – ксеносапробна, I клас; 0,50-1,50 – олігосапробна, II клас; 1,51-2,50 – бета-мезосапробна, III клас; 2,50-3,50 – альфа-мезосапробна, IV клас; 3,51 – 4,00 – полісапробна, V клас.

Обладнання, реактиви, матеріали: планктонна сітка; драга; донний черпак; сачок; склянки для доставки матеріалу в лабораторію; мікроскоп; предметні і покривні скельця; чашки Петрі; формалін 40% розчин.

Рекомендована література

1. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

Лабораторна робота №7

Оцінка якості водного середовища за біотичними індексами

Мета роботи: Оволодіти методикою встановлення класу якості поверхневих вод за біотичними індексами

Основні поняття

Природні водойми дуже різняться одна від одної за якістю води. Одним із визнаних підходів до оцінки якості води є біоіндикація, при якій використовують живі організми, що реагують на комплекс чинників середовища своєю наявністю або відсутністю, зміною зовнішнього вигляду, хімічним складом, поведінкою, ступенем розвитку. Класам якості поверхневих вод властиві певні характеристики і певний колір позначення на спеціальних картах якості води, що дозволяє наочно проілюструвати її екологічний стан.

I клас – дуже чиста. Колір на картах якості води блакитний. Вода подібної якості переважно відмічається у гірських річках та озерах, де вплив людини на природу ще надзвичайно малий. Вона містить незначну кількість біогенних

елементів, добре насичена киснем, прозора до значних глибин (5-10 м), холодна. У водоймах з таким класом якості води серед водних рослин трапляються, переважно, водні мохи та харові водорості, які можуть рости на значних глибинах; серед донних безхребетних тварин – види надзвичайно чутливі до забруднення та вимогливі до високого вмісту кисню (веснянки, одноденки, деякі види волохокрильців).

II клас – чиста. Колір на картах якості води зелений. У воді збільшується кількість біогенних елементів, але кисневий режим залишається досить сприятливим. Спостерігається високе видове різноманіття водоростей, молюсків, ракоподібних, личинок комах. Переважають зарості занурених рослин, які розповсюджені на значних площах акваторії.

III клас – забруднена. Колір на картах якості води жовтий. У таких водах значно збільшений вміст біогенних елементів, органічної речовини, внаслідок чого різко зростає біопродуктивність водойми. Наслідком цього є виникнення такого явища як «цвітіння» води за рахунок масового розвитку мікроскопічних водоростей, насамперед, синьо-зелених. Загальна чисельність видів рослин та тварин зменшується, але збільшується кількість видів, які витримують забруднення. Донні безхребетні представлені ракоподібними, волохокрильцями, трапляються водні клопи, жуки, п'явки, багато легеневих молюсків.

IV клас – брудна. Колір на картах якості води оранжевий. До цього класу належать дуже замулені водойми з поганим кисневим режимом, частими явищами задухи та низькою прозорістю води. Біорізноманіття водних організмів тут невисоке, лише деякі види макролітів здатні витримувати несприятливі екологічні умови; проте ті з них, які можуть тут існувати, досягають значної чисельності та біомаси. З рослин значного розвитку набувають ряски, кушир, серед донних безхребетних – личинки комарів-дзвінців та малощетинкові черви (олігохети).

V клас – дуже брудна. Колір на картах якості води червоний. Трапляється у водоймах, де концентрація розчиненого кисню вкрай низька (менше 10%), а в донних

відкладах міститься сірководень. Водні рослини та донні макробезхребетні зазвичай відсутні або зустрічаються зрідка.

Серед методів, які ґрунтуються на використанні як індикаторних властивостей окремих видів, найбільш універсальними є метод Майєра та метод Вудівісса.

Хід роботи

Визначенні індексу Майєра

1. На водоймі збирають біологічний матеріал макрзообентосу та сортують на групи, згідно з їх вибагливістю до екологічних умов, які наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Визначення індексу Майєра

Мешканці чистих вод	Організми середнього ступеня чутливості	Мешканці забруднених вод
Личинки веснянок (<i>Plecoptera</i>)	Бокоплави (<i>Amphipoda</i>)	Личинки комарів-дзвінців (<i>Chironomidae</i>)
Личинки однорядок (<i>Ephemeroptera</i>)	Річковий рак (<i>Astacus sp.</i>)	П'явки (<i>Hirudinea</i>)
Личинки волохокрильців (<i>Trichoptera</i>)	Личинки бабок (<i>Odonata</i>)	Водяний віслучок (<i>Asellus aquaticus</i>)
Личинки вислокрильців (<i>Megaloptera</i>)	Личинки комарів-довгоніжок (<i>Tipulidae</i>)	Молюски - ставковики (<i>Gastropoda, Lymnaea</i>)
Двостулкові молюски (<i>Bivalvia</i>)	Молюски - катушки (<i>Gastropoda, Planorbidae</i>)	Личинки мошки (<i>Diptera, Simuliidae</i>)
	Молюски - живородки (<i>Gastropoda, Viviparidae</i>)	Малощетинкові черви (<i>Oligochaeta</i>)

2. Підраховують скільки груп знайдено в пробі з першого, другого та третього стовпчика таблиці.

3. Кількість груп з першого стовпчика множать на 3, другого – на 2, третього – на 1. За сумою отриманих значень характеризують ступінь забрудненості водойми: більше 22 – вода належить до I класу якості; від 17 до 21 – до II; від 11 до 16 – до III; менше 11 – IV-V класів.

Визначення індексу Вудівісса

1. На водоймі збирають біологічний матеріал макрозообентосу та сортують на умовні групи, згідно з їх індикаторної значимості (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Визначення якості води за макрозообентосом

Наявність певних таксонів тварин у пробі	Кількість видів певного таксону у пробі	Загальна кількість умовних "груп" організмів ¹ у пробі				
		0-1	2-5	6-10	11-15	16 і >
		Значення біотичного індексу				
1	2	3				
Наявні личинки веснянок (ряд <i>Plecoptera</i> , клас - Комахи)	Більше одного виду	-	7	8	9	10
	Лише один вид	-	6	7	8	9
Наявні личинки одnodенок (ряд <i>Ephemeroptera</i> , клас - Комахи)	Більше одного виду ²	-	6	7	8	9
	Лише один вид ²	-	5	6	7	8
Наявні личинки волохокрильців (ряд <i>Trichoptera</i> , клас - Комахи)	Більше одного виду ³	-	5	6	7	8
	Лише один вид ³	4	4	5	6	7
Наявні бокоплави (або гамариди) (ряд <i>Amphipoda</i> , клас - Ракоподібні)	Усі вище зазначені види відсутні	3	4	5	6	7

продовження табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7
Наявний водяний ослик (<i>Asselus aquaticus</i> , ряд - <i>Isopoda</i> , клас - Ракоподібні)	Усі вище зазначені види відсутні	2	3	4	5	6
Присутні тубіфіциди (<i>Oligohaeta</i> , Малощетинкові черви) та/або личинки хірономід (<i>Chironomidae</i>)	Усі вище зазначені види відсутні	1	2	3	4	-
Усі вищезазначені групи відсутні	Можуть бути присутні види, невибагливі до вмісту кисню у воді	0	1	2	-	-

Примітка: 1 - Умовні групи організмів які підлягають підрахунку; 1) усі види плоских червів, 2) усі види п'явок, 3) усі види водяних кліщів, 4) усі види молюсків, 5) усі види ракоподібних, 6) усі види личинок веснянок, 7) усі види личинок одноденок, 8) усі види личинок двокрилих, 9) усі види личинок жуків, 10) личинки *Baetis rhodani* (одноденка), 11) личинки *Chironomus thummi* (хірономіда), 12) личинки волохокрильців, 13) личинки всіх інших хірономід, 14) личинки симулід, 15) усі види личинок сітчастокрилих; 2 - Виключаючи личинку одноденки *Baetis rhodani*; 3 - *Baetis rhodani* включена в цей розділ.

2. Виходячи з наявності в пробі індикаторних організмів, визначають потрібний рядок таблиці. На перетині вибраного рядка та колонки, що вказує кількість виявлених організмів у пробі знаходиться значення біотичного індексу.

Наприклад, якщо у пробі знайдено 10 груп організмів, і знайдено личинки 2-х видів одноденок (крім *Baetis rhodani*), то біотичний індекс дорівнює 7. Якщо у пробі знайдено 5 груп організмів, але серед них немає личинок веснянок, одноденок та

волохокрильців, а знайдено лише бокоплавів, то біотичний індекс дорівнює 4 і т. д.

3. Значення біотичного індексу приблизно відповідають певній сапробній зоні та класу вод за міжнародною класифікацією: 9-10 - дуже чисті ділянки водойми (блакитний колір, ксено- та олігосапробна зона, I-й клас води); 7-8 чисті або слабо забруднені (зелений колір, олігосапробна зона, II-й клас води); 5-6 - слабо забруднені (жовтий колір, бета-мезосапробна зона, III-й клас води); 3-4 забруднені (оранжевий колір, альфа-мезосапробна зона, IV-й клас води); 1-2 - брудні (червоний колір, полісапробна зона. V-VI клас води).

4. Після визначення індексів таксономічних груп, що наведені у табл. 2, розраховується індекс Вудівісса за формулою:

$$I_B = \frac{\sum x_i}{n} \quad (7.1)$$

де X_i – значення індексів індикаторних організмів; n – кількість вичавлених індикаторних організмів.

Обладнання, реактиви, матеріали: донний черпак; сачок; скребок; таз; пінцет; банки для сортування різних груп організмів.

Рекомендована література

1. Карпова Г., Зуб Л., Мельничук В., Проців Г. Оцінка екологічного стану водойм методами біоіндикації. Перші кроки до оцінки якості води. – Бережани, 2010. – 32 с.

2. Хижняк М.І., Євтушенко М.Ю. Методологія вивчення угруповань водних організмів [Навчальний посібник]/М.І. Хижняк, М.Ю. Євтушенко – Київ: Український фітосоціологічний центр, 2014. – 269 с.

3. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений // Под ред. Абакумова В.А. – М.: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.

4. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О. П. Мелехова [и др.]. М.: Academia, 2007.

Лабораторна робота №8

Вивчення біологічних особливостей вищих водних рослин. Розрахунок індексу фітоіндикації

***Мета роботи:** Освоїти методiku оцінки сприятливості екологічного стану водних екосистем за видовою та чисельною різноманітністю вищих водних рослин*

Основні поняття

Розрахунок індексу фітоіндикації та коефіцієнта сприятливості екологічного стану водних екосистем за вищою водною рослинністю проводять за методикою В. Сладечека, яка передбачає вивчення видової різноманітності ценозів ВВР та встановлення чисельності чутливих до забруднення води видів. Зростання значення індексу вказує на зниження якості води та погіршення стану водного середовища.

Хід роботи

При прозорості води від 0,2 до 2,0 м індекс фітоіндикації можна розрахувати за формулою:

$$I_f = \frac{2,5 \cdot k_{\text{спр}} \cdot N}{\sum_{i=1}^n z_i} \quad (8.1)$$

де N – загальне число видів на 10 майданчиках по 50 м² (видова різноманітність, крім явищ монотипізації рослинності, $N > 10$); n – число занурених видів + число індикаторів (чутливих видів), $n > 0$; 2,5 – поправочний коефіцієнт, введений для можливості порівняння значень I_f та I_e ; $k_{\text{спр}}$ – коефіцієнт природної сприятливості для розвитку ВВР, введений для можливості порівняння водних об'єктів або їх ділянок, що відрізняються за гідрологічними та гідрофізичними характеристиками (нижче – коефіцієнт сприятливості); z_i – коефіцієнт значущості індикатора, визначений залежно від чутливості виду до забруднень (для всіх занурених рослин, крім наведених у списку (табл. 8.1), приймається рівним 1).

Таблиця 8.1

Коефіцієнт значущості індикатора

Види	z_i
Водяний горіх плаваючий (<i>Trapa natans</i>)*	3
Плавун щитolistий (<i>Nymphoides peltata</i>)*	3
Марсилія чотирилиста (<i>Marsilea quadrifolia</i>)*	3
Рдесник блискучий (<i>Potamogeton lucens</i>)	3
Латаття біле (<i>Nymphaea alba</i>)	3
Латаття сніжно-біле (<i>N. candida</i>)*	3
Ряска триборозенчаста (<i>Lemna trisulca</i>)	3
Водопериця колосиста (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	3
Рдесник пронизанolistий (<i>P. perfoliatus</i>)	2
Елодея канадська (<i>Elodea canadensis</i>)	2
Глечики жовті (<i>Nuphar lutea</i>)	2
Хвощ річковий (<i>Equisetum fluviatile</i>)	1
Півники водяні (<i>Iris pseudacorus</i>)	1

*Примітка: Вид занесено до “Червоної книги України”

Значення коефіцієнта z_i – це приблизна оцінка індикаторної значущості виду за результатами оцінки індикаторності. Коефіцієнт застосовується як спрощення, необхідне для розрахунку. Також, для полегшення роботи з формулою, для більшості занурених рослин пропонується значення коефіцієнта 1.

Сума гідрологічних та гідрофізичних факторів, що впливають на ВВР, створює сприятливий або несприятливий загальний фон для розвитку водної рослинності. Для розрахунку коефіцієнта сприятливості використовується формула:

$$k_{\text{спр}} = \frac{a_1 k_1 + \dots + a_n k_n}{n} \quad (8.2)$$

де $k_1 \dots k_n$ – складові коефіцієнта сприятливості (факторів, безпосередньо не пов'язаних із забрудненням); n – кількість факторів, які враховуються.

При розрахунках $k_{\text{спр}}$ пропонується враховувати наступні гідрологічні і гідрофізичні характеристики: нахил дна (α_1); швидкість течії (k_1); переважаюча глибина (k_2); прозорість за диском Секкі (k_3); коливання рівня води протягом вегетаційного періоду (k_4); характер донних відкладень та субстрату (k_5) (табл. 8.2, 8.3).

Таблиця 8.2

Складові коефіцієнта природної сприйнятливості (1)

	k_1^* , глибина у межах (м)	k_2 , швидкість течії (м/с)	k_3 , прозорість, м
1	від 0 до 1,2	0 – 0,1	> 1,5
0,8	від 0 до 0,8	0,1 – 0,2	1,0 – 1,5
0,6	від 0 до 0,6	0,2 – 0,3	0,65 – 0,95
0,4	від 0 до 0,4	0,3 – 0,5	0,5 – 0,6
0,2	від 0 до 0,3	0,5 – 0,8	0,3 – 0,45
0	< 0,3	> 0,8	< 0,3

*Примітка: Важливою характеристикою сприйнятливості є нахил дна - наростання глибини до межі поширення занурених водних рослин (для досліджених річок це приблизно до 1,5 (1,8) м). Наростання глибини має бути достатньо повільним для утворення усіх поясів рослинності: (α_1)=1 при нахилі дна до 200°, $\alpha_1 k_1=1$; якщо нахил дна 450° і вище $\alpha_1 \approx 0$, $\alpha_1 k_1=0$.

Приблизні значення коефіцієнта сприйнятливості для різних водних об'єктів: 1 – дуже сприйнятливі (ставки, водосховища, озера); 0,8 – сприйнятливі (малі річки з повільною течією до 0,3 м/с); 0,6 – умовно сприйнятливі (швидка течія, але хороший ґрунт і глибина, безпосередній антропогенний вплив: викошування, витоптування, випас, тощо); 0,4 – несприйнятливі (швидка течія, різке наростання глибин, значні коливання рівня води протягом вегетаційного періоду, тощо); 0,2 – дуже несприйнятливі (великі річки з потужною течією); при $k_{\text{спр}} \rightarrow 0$ фітоіндикаційна оцінка втрачає зміст.

Таблиця 8.3

Складові коефіцієнта сприятливості (2)

k4	Коливання рівня води протягом вегетаційного періоду
1	Незначні коливання (0,15-0,25 м)
0,5	Значні (0,3 – 0,5 м)
0	Дуже значні (> 0,5 м)
k5	Характер донних відкладень та субстрату
1	Значно сприятливий (відкладення мулу по всьому поперечному перерізу річки)
0,8	Сприятливий (відкладення мулу в місцях зменшення швидкості течії, краї руслових ям, верхів'я руслових водосховищ)
0,6	Частково сприятливий (прибережні мілководдя)
0,4	Умовно сприятливий (нанесення мулу в місцях інтенсивного надходження твердого стоку)
0,2	Несприятливий (бистрини по фарватеру винесення донних відкладень, промивний режим)
0	Дуже несприятливий (перевідкладення піску та гальки)

Коефіцієнт сприятливості пов'язаний із заростанням водного дзеркала – проєктивним покриттям (ПП,%). Зв'язок між коефіцієнтом сприятливості та проєктивним покриттям водного дзеркала (область визначення) знаходиться між кривими, що зображені на рис. 8.1.

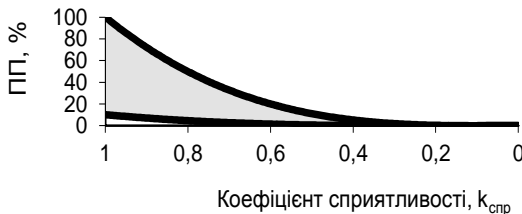


Рис. 8.1. Графік визначення області коефіцієнту сприятливості водного середовища за проєктивним покриттям вищою водною рослинністю

За значенням індексу фітоіндикації можна визначити клас якості вод (табл. 8.4).

Таблиця 8.4

Класифікація поверхневих вод за значенням індексу
фітоіндикації

Значення If	Стан водного середовища	Клас якості вод
до 3,0	добрий	1-2
від 3,0 до 8,0	задовільний	3
від 8,1 до 11,0	перехідний	4
від 11,1 до 15,0	поганий	
понад 15,1	дуже поганий	5

Порядок проведення досліджень

1. Перед початком вивчення видового складу ВВР, проводять попереднє рекогносцирувальне обстеження водойми. Для цього, на дослідній водоймі відзначають та заносять у журнал (щоденник спостережень) наступні характеристики: 1) назва і географічне положення водойми; 2) розмір водойми; 3) глибину водойми; 4) ступінь захищеності від вітру і хвиль; 5) прозорість або каламутність води та її колір; 6) наявність або відсутність течії; 7) фракційний склад ґрунту (пісок, глина, каміння, мул); 8) характер берега (пологий, крутий, обривистий); 9) наявність на березі рослинності та її протяжність; 10) характер розподілу рослинності: кількість ярусів, їх висота та ширина.

2. На водоймі закладають 10 умовних майданчиків (50 м²) на яких проводять ознайомлювальне дослідження фітоугруповань, визначають їх рослинний склад, та з'ясовують внутрішню будову угруповань. Щоб визначити флористичний склад створюють повний список рослин, які є складовою частиною фітоценозу. До журналу вносять всі види, які виявлені на дослідній ділянці. Тим рослинам, назву яких дослідник не знає, присвоюють умовну назву. Такі види обов'язково беруть у гербарій і потім визначають їх правильну назву. Виявлення видів рослин з наступним записом їх до журналу, починають завжди з верхнього надводного ярусу, а закінчують нижнім

підводним. За такою системою рослини у водних угрупованнях обліковують швидко і точно.

3. Оцінюють характер розповсюдження ВВР (поодинокі, групами, плямами, рівномірно) та площу проективного покриття. Площа покриття або проективне покриття – це площа горизонтальних проекцій рослин на поверхню ґрунту (днища), яку виражають у відсотках від поверхні дослідної ділянки, яку приймають за 100 %. Проективне покриття визначають за допомогою квадратної рами або окомірно. Під час маршрутних досліджень широко застосовують окомірне визначення.

4. Систематизують отримані дані та розраховують індекс фітоіндикації, згідно вище наведених формул.

5. За індексом фітоіндикації визначають клас якості води та роблять заключення про екологічний стан досліджуваної водойми.

Обладнання, реактиви, матеріали: визначник водних рослин, журнал для записів, мотузка з тягарем для вимірювання глибини водойми, рулетка.

Рекомендована література

1. Клименко М. О., Гроховська Ю. Р. Оцінка екологічного стану водних екосистем річок басейну Прип'яті за вищими водними рослинами. Рівне : НУВГП, 2005. 194 с.

2. Мусієнко М. М., Ольхович О. П. Методи дослідження вищих водних рослин. Київ : Видавництво поліграфічний центр "Київський університет", 2004. 60 с.